

令和 2 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K13048

研究課題名(和文) 腱板修復術後患者の修復腱板に加わる張力の定量的評価法の開発

研究課題名(英文) A quantitative assessment of the stress applied to the repaired tendon in patients after rotator cuff repair

研究代表者

石川 博明 (Ishikawa, Hiroaki)

東北大学・大学病院・理学療法士

研究者番号：30597828

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：腱板修復術後患者18名を対象とし、超音波エラストグラフィを用いて修復した棘上筋腱の硬さを測定することで張力を推定し、どのような装具の装着位置や日常生活動作、運動療法で張力が増加するのかを調べた。その結果、掌上角度が小さく、肩甲骨面とは異なる掌上面で装具を装着することにより腱の硬さが有意に増加し、これらの装着位置では腱に大きな張力が加わる可能性が示唆された。また、日常生活動作(飲水、歯磨き、更衣)、8種類の運動療法のすべてにおいて安静時と比べて腱の硬さが有意に増加した。これらの運動療法の中で、抵抗運動(外転)、抵抗運動(内旋)で腱の硬さがそれぞれ最大値、最小値を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、修復腱に大きな張力が加わる不適切な装具の装着位置や日常生活動作が明らかになり、これらの知見は腱板修復術後患者への生活指導に役立てることができる。また、運動療法中の修復腱に加わる張力を定量化することで、術後経過や修復腱の強度に合わせた運動療法を選択することが可能となる。今後は、これらの知見を踏まえて修復腱を保護しながら段階的かつ安全なリハビリテーションプロトコルを構築する必要がある。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to estimate a stress on the supraspinatus tendon applied by various immobilization position, activities of daily living (drinking, brushing teeth, and dressing), and 8 rehabilitation exercises in patients after rotator cuff repair. Eighteen patients who underwent rotator cuff repair participated in this study. Elasticity of the supraspinatus tendon was measured with ultrasound elastography to estimate a stress on the tendon. This study demonstrated that improper immobilization positions such as decreased elevation angle and different planes from the scapular plane could increase the stress on the repaired tendon. In addition, any type of activity of daily living and exercise in this study places a stress on the repaired tendon. The highest and lowest stress applied to the repaired tendon among 8 exercises were observed during resisted abduction and resisted internal rotation, respectively.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：腱板断裂 腱板修復術後 超音波エラストグラフィ 張力 外転装具 ADL 運動療法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

腱板断裂は、日常生活に支障をきたす有痛性の肩関節疾患であり、保存療法で症状が改善しない場合は腱板修復術の適応となる。しかし、器質的な修復だけでは筋力は十分に回復せず、固定によって生じる拘縮を防ぐために術後のリハビリテーションは必要不可欠である。一方、修復術後患者の30%以上が再断裂を引き起こすことが報告されており、リハビリテーションが再断裂の一因である可能性が示唆されている。再断裂をきたした症例では疼痛や筋力低下が残存するだけでなく、再手術に至ると医療コストの増加に繋がるため、修復腱を保護しながら安全なリハビリテーションを行うことが求められる。

再断裂を引き起こす力学的要因として腱板に加わる張力が挙げられ、ラットを用いた動物実験において、修復腱に持続的な張力が加わることで再断裂のリスクが高まることが明らかになっている。これまで、新鮮凍結遺体肩を用いて張力を測定し、最適な装具の固定肢位について検討されてきた。しかし、腱板に加わる張力を生体で評価する方法は確立されておらず、実際の日常生活動作や運動療法でどの程度の張力が生じるのかは明らかにされていない。特に、再断裂は固定が外され自動運動や抵抗運動が開始となる術後6週から急激に増加することが分かっている。したがって、術後6週以降に行う自動運動、抵抗運動時の張力が再断裂に関与する重要な因子であると考えられる。

我々は張力を表すパラメーターとして「硬さ」に着目し、生体で測定することが可能な新たな評価法の確立を試みた。一般的に、組織に加わる張力が増加することによって硬くなることが知られている。超音波エラストグラフィは、生体の組織の硬さを非侵襲的かつ定量的に測定することができる装置である。我々が行った予備実験では、超音波エラストグラフィを用いて健常者の棘上筋腱の硬さを測定した結果、装具の挙上角度が小さくなるにつれ腱の硬さが増加する傾向を示した。同様に、筋収縮時の負荷が増加するにつれ、棘上筋腱が有意に硬くなることを明らかにした。この評価法を腱板修復術後患者に応用することで、修復腱に加わる張力を推定できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、超音波エラストグラフィを用いて腱板修復術後患者の修復腱の硬さを測定し、「装具の装着位置」、「日常生活動作」、「運動療法」に関する様々な条件下でどの程度の張力が加わるのかを明らかにすることである。本研究により、生体での修復腱に加わる張力を推定することで、より安全な後療法を進める上での有益な情報を得ることができる。

3. 研究の方法

(1) 被験者の選定

研究代表者の所属機関およびその関連病院の整形外科医による腱板一次修復術を受け、術後リハビリテーションを行う患者の中から抽出した。除外基準は、一次修復が困難であり大腿筋膜移植術および人工肩関節置換術の適応となった者、関節リウマチなどの炎症性疾患や筋萎縮を伴う神経筋疾患を有する者、指示理解ができない者とした。検者は、倫理委員会によって承認された「説明書」と「同意書」を用いて、対象者に対して研究の目的、方法、研究参加の任意性について十分に説明を行った。同意が得られた場合には、対象者に「同意書」への署名をいただいた。これらの手順により、腱板修復術後患者18名(平均年齢63±10歳、男性4名、女性14名)が被験者として研究に参加した。

(2) 超音波エラストグラフィによる腱の硬さ測定

使用機器

超音波画像診断装置(日立アロカメディカル社製、HI VISION Avius)、超音波診断用プローブ(日立アロカメディカル社製、14-6MHz EUP-L65)、音響カプラー(日立アロカメディカル社製、EZU-TEATC1)を用いた。本装置にはReal-time Tissue Elastography機能が搭載されており、組織に加えられたひずみを検知し、定量化することにより組織の硬さを評価することが可能となる。なお、音響カプラーはエラストマー樹脂でできた硬さが一定の物質であり、アタッチメントを介してプローブの先端に装着した。

測定方法

被験者はあらかじめ測定部位を露出させた。検者は測定部位周辺に医療用のジェルを塗り、プローブを当てながら棘上筋腱を同定した。肩峰前縁と上腕骨大結節を結ぶ線上にプローブを当て、Bモードで棘上筋腱の長軸像を撮像した。次に、プローブで徒手のごく軽微な振動を加えて音響カプラーと棘上筋腱のひずみを測定し、音響カプラーのひずみに対する棘上筋腱のひずみの比(Strain Ratio)を算出することで腱の硬さを定量化した。なお、Strain Ratioの値が小さいほど、棘上筋腱が硬いことを意味する。この一連の測定を「装具の装着位置」、「日常生活動作」、「運動療法」に関する各条件下で行った。測定回数は各条件2回とし、その平均値を解析に用いた。

測定条件

「装具の装着位置」は、(1)挙上30°位・肩甲骨面(基準肢位)、(2)挙上0°位・肩甲骨面、(3)挙上45°位・肩甲骨面、(4)挙上30°位・肩甲骨面+60°、(5)挙上30°位・肩甲骨面-60°の5条件とした。「日常生活動作」は、(1)飲水、(2)歯磨き、(3)更衣の3条件とした。「運動療法」

は、(1)自動介助運動(屈曲、外旋)、(2)自動運動(屈曲、外転、外旋)、(3)抵抗運動(外転、外旋、内旋)の8条件とした。

(3) 統計解析

「装具の装着位置」、「日常生活動作」、「運動療法」のそれぞれにおいて、反復測定分散分析および多重比較法 (Bonferroni 法) を用いて Strain Ratio を各条件間で比較した。また、記述統計により、基準肢位に対する各条件の Strain Ratio の比を算出した。なお、統計解析ソフトは SPSS (Ver.25) を使用し、有意水準は 5% に設定した。

4. 研究成果

(1) 装具の装着位置

装具の挙上角度に関して、「挙上 0° 位・肩甲骨面」は「挙上 30° 位・肩甲骨面」、「挙上 45° 位・肩甲骨面」と比べて有意に硬かった ($p < 0.05$) (図 1)。装具の挙上面に関して、「挙上 30° 位・肩甲骨面+60°」、「挙上 30° 位・肩甲骨面-60°」は「挙上 30° 位・肩甲骨面」と比べて有意に硬かった ($p < 0.05$) (図 2)。

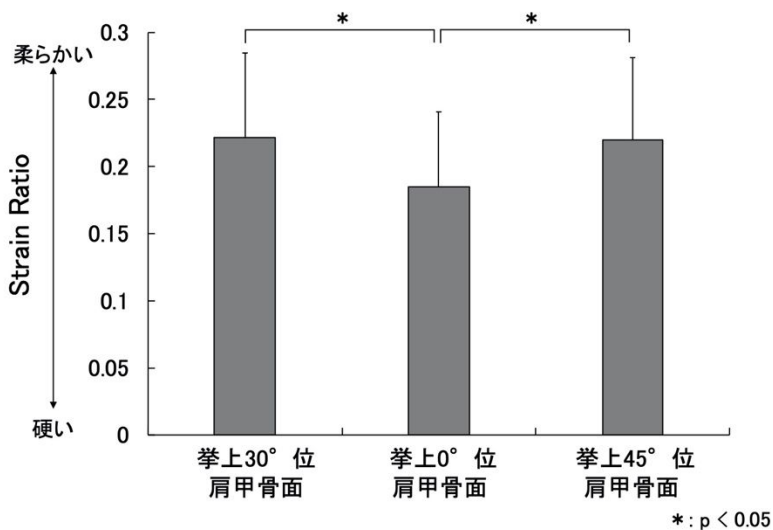


図1 装具の挙上角度と棘上筋腱の硬さ

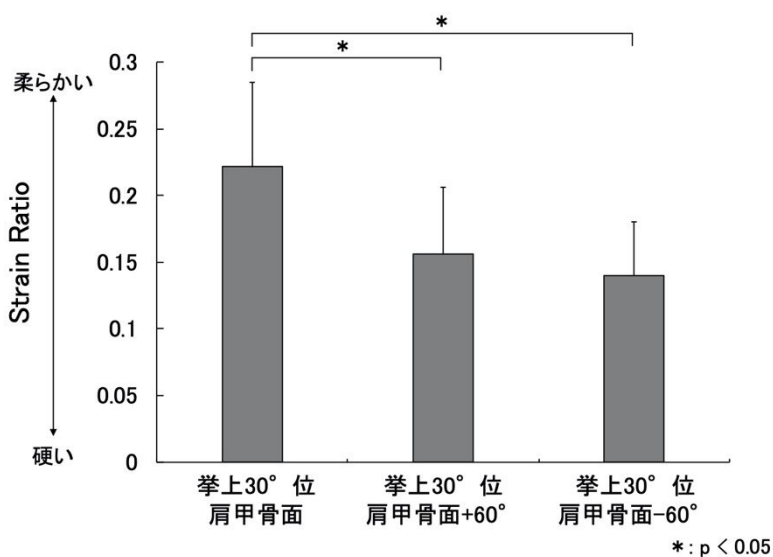


図2 装具の挙上面と棘上筋腱の硬さ

(2) 日常生活動作

「飲水」、「歯磨き」、「更衣」は「基準肢位」と比べて有意に硬かった ($p < 0.05$) (図3)。また、「飲水」は「更衣」と比べて有意に硬かった ($p < 0.05$) (図3)。

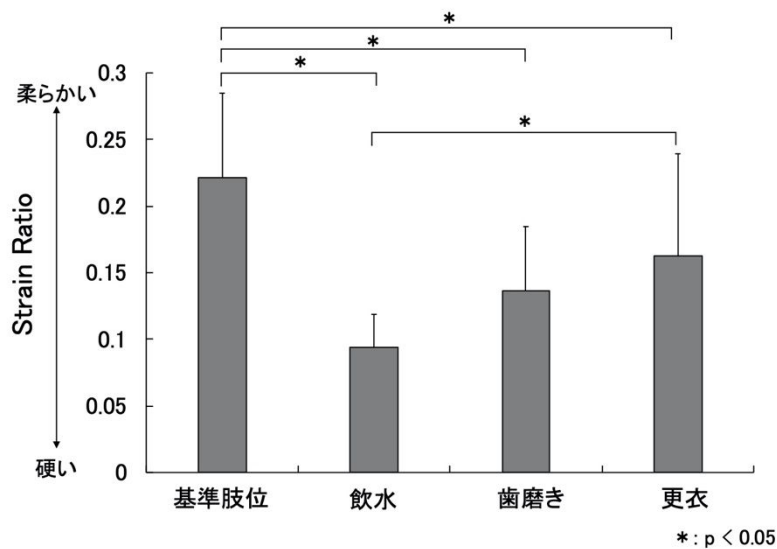


図3 日常生活動作と棘上筋腱の硬さ

(3) 運動療法

すべての運動療方は「基準肢位」と比べて有意に硬かった ($p < 0.05$) (図4)。8種類の運動療法の中で、棘上筋腱の硬さが最大値を示したのは「抵抗運動(外転)」であった(基準肢位の5.9倍)(表1)。また、棘上筋腱の硬さが最小値を示したのは「抵抗運動(内旋)」であった(基準肢位の1.6倍)(表1)。

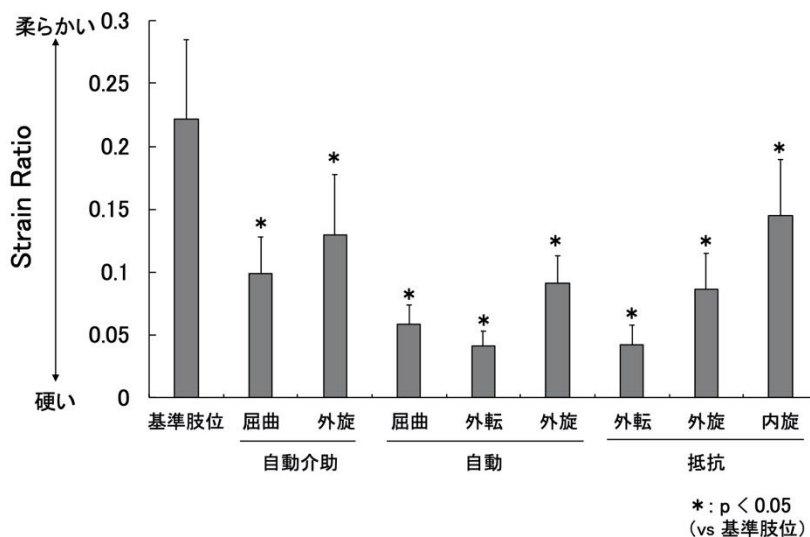


図4 運動療法と棘上筋腱の硬さ

表1 基準肢位に対する各運動療法のStrain Ratio比

	条件	Strain Ratio比
硬い ↑ ↓ 柔らかい	1 抵抗運動(外転)	5.9
	2 自動運動(外転)	5.8
	3 自動運動(屈曲)	4.0
	4 抵抗運動(外旋)	2.8
	5 自動運動(外旋)	2.5
	6 自動介助運動(屈曲)	2.4
	7 自動介助運動(外旋)	1.8
	8 抵抗運動(内旋)	1.6

(4) まとめ

本研究では、装具の装着位置や日常生活動作、運動療法が修復腱に加わる張力にどのような影響を及ぼすのかを検討した。その結果、挙上角度に関しては挙上角度が小さくなると棘上筋腱の硬さが有意に増加した。また、挙上面に関しては肩甲骨面とは異なる挙上面(水平内転位または水平外転位)で棘上筋腱の硬さが有意に増加した。新鮮凍結遺体肩を用いた先行研究において、挙上角度が小さくなるにつれて棘上筋腱のひずみが大きくなることや、水平外転位で棘上筋(筋腹)のひずみが大きくなることが報告されている。下垂位や水平外転位は棘上筋の筋腹および腱が最も伸張される肢位であり、本研究においても棘上筋腱が伸張されることにより硬くなり、棘上筋腱に加わる張力が増大したと考えられた。

日常生活動作に関しては飲水、歯磨き、更衣のすべての動作で棘上筋腱が基準肢位と比べて有意に硬かった。日常生活動作時の筋電図活動を調べた先行研究において、飲水、歯磨き動作で棘上筋に筋活動(21%MVC、12%MVC)が生じることが報告されている。棘上筋が収縮することにより筋腱移行部を介して腱は伸張される。本研究においても、日常生活動作時に棘上筋の筋収縮が生じたことで腱が硬くなり、棘上筋腱に加わる張力が増大したと考えられた。

運動療法に関してはすべての運動で棘上筋腱が基準肢位と比べて有意に硬かった。特に、抵抗運動(外転)で棘上筋腱の硬さが最大となり、基準肢位と比べて5.8倍硬い結果を示した。様々な種類の運動療法における棘上筋の筋電図活動を調べた先行研究では、外転運動で棘上筋の筋活動が最も高くなることが報告されている。本研究においても、棘上筋の高い筋活動によって棘上筋腱が硬くなったと考えられる。一方、抵抗運動(内旋)で棘上筋腱の硬さが最小となり、基準肢位と比べて1.6倍硬い結果を示した。新鮮凍結遺体肩を用いた先行研究において、内旋角度が大きくなるにつれて棘上筋腱のひずみが大きくなることが報告されている。しかし、本研究における内旋運動時の角度は小さく(内旋20°位)、棘上筋腱が伸張される程度が小さかったため修復腱に加わる張力が増加しなかった可能性が考えられた。

これらの知見を踏まえて、臨床で装具の装着について指導する場合には一定の挙上角度を保ち、肩甲骨面で装着するように指導する。また、装具固定期間中は、術側上肢を使用した日常生活動作は避けるように指導することが推奨される。さらに、運動療法を行う場合には修復腱に加わる張力が小さい運動から開始し、段階的に負荷を上げていくことが安全なりハビリテーションを行う上で重要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hiroaki Ishikawa
2. 発表標題 The elasticity of the supraspinatus tendon during rehabilitation exercises following arthroscopic rotator cuff repair: A quantitative assessment using ultrasound elastography
3. 学会等名 SECEC 2018 (28th Congress of the European Society for Shoulder and Elbow Surgery) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Ishikawa
2. 発表標題 The Effect of Shoulder Immobilization Position and Activities of Daily Living on the Elasticity of the Repaired Rotator Cuff Tendon
3. 学会等名 Asian Confederation for Physical Therapy Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川 博明
2. 発表標題 肩外転装具の位置や日常生活動作が修復腱板の硬さに及ぼす影響
3. 学会等名 第45回日本肩関節学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Ishikawa
2. 発表標題 Estimation of Stress on the Supraspinatus Tendon during Rehabilitation Exercises with Ultrasound Elastography in Patients after Arthroscopic Rotator Cuff Repair
3. 学会等名 International Congress of Shoulder and Elbow Surgery (ICSES) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----